

Tegangan Geser pada Struktur Kapal Kontainer

Dwi Qaqa Prasetyatama dan Totok Yulianto

Jurusan Teknik Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

E-mail: totoky@na.its.ac.id

Dalam penelitian ini, dilakukan analisa tegangan geser pada kapal kontainer Meratus Progress II. Analisa tegangan geser ini dilakukan dengan dua metode yang berbeda, yaitu metode perhitungan manual dan metode elemen hingga. Perhitungan manual dilakukan dengan menggunakan teori *hull girder respon analysis*, sedangkan metode elemen hingga dilakukan dengan pemodelan satu ruang muat pada program MSC Patran dengan input pembebanan berdasarkan regulasi *Registro Italiano Navale (RINA) 2010* dan berdasarkan data perhitungan kapal yang telah dikelaskan oleh BKI. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui nilai tegangan geser antara metode elemen hingga dan metode perhitungan manual. Hasil analisa tegangan geser dari kedua metode tersebut selanjutnya dibandingkan dengan batas ijin tegangan geser yang diberikan oleh regulasi BKI. Dari hasil perhitungan manual, didapatkan tegangan geser maksimum sebesar 26,1 N/mm² akibat momen bending dan sebesar 26 N/mm² akibat torsi. Sedangkan dari hasil perhitungan metode elemen hingga didapatkan tegangan geser maksimum sebesar 103.3 N/mm². Dari hasil analisa tersebut, dapat disimpulkan bahwa tegangan geser pada konstruksi kapal kontainer Meratus Progress II memenuhi persyaratan klasifikasi BKI.

Kata Kunci— kapal kontainer, *hull girder respon analysis*, MSC Patran, momen torsi, tegangan geser.

I. PENDAHULUAN

Terdapat 2 Jenis tipe *dry cargo* yaitu *bulk cargo* dan *break bulk cargo*. *Bulk cargoes*, seperti biji-bijian (gandum dan lain sebagainya) atau batu bara dikirimkan oleh kapal dalam keadaan tidak dikemas (*unpacked*) dilambung kapal dalam jumlah yang besar sedangkan *break bulk cargo* dikirimkan oleh kapal dalam keadaan kemasan (*packaged*). Sebelum munculnya *containerization* pada 1950an, *break bulk cargo* dimuat dan dibongkar dalam satu waktu. Namun dengan mengelompokkan muatan pada suatu wadah 1000 sampai 3000 *cubic feet* (28-85 m³) dari muatan atau 64.000 *pound* (29.000 kg) telah meningkatkan efisiensi pergerakan tradisional *break bulk cargo* secara signifikan dengan mengurangi waktu pengiriman 84% dan biaya 35%. Pada tahun 2001, lebih dari 90% perdagangan dunia *non-bulk* diangkut dalam ISO kontainer dan pada Tahun 2009 hampir ¼ dari muatan kering seluruh dunia dikirim dengan kontainer dimana diperkirakan 125 juta TEU's. Dengan meningkatnya kebutuhan dalam pengangkutan kontainer menjadikan kapal kontainer komoditas yang paling dicari dan saat ini telah menjadi pesaing utama kapal *crude oil tankers* dan *bulk carriers* yang menjadi kapal komersial terbesar di samudra [1]. Dalam bidang kekuatan struktur kapal, kita perlu memperhitungkan tegangan maksimum yang terjadi pada kapal

kontainer karena kapal kontainer merupakan kapal yang memiliki bukaan yang cukup lebar. Kemungkinan terjadinya tegangan geser pada kapal kontainer sangat besar sehingga perlu adanya perhatian khusus dalam analisa tegangan geser. Tegangan ini bisa diakibatkan karena gaya geser (*shear force*) dan momen torsi (*torsi*). Selain itu, dalam penelitian ini, diambil studi kasus untuk kapal Kontainer Meratus Progress I dengan LOA = 100,60 m. Karena panjang kapal lebih dari 90 m ($L \geq 90$ m), maka model kapal yang akan dilakukan analisa adalah 1 ruang muat saja sesuai dengan regulasi RINA. Oleh karena itu, dari kasus-kasus tersebut, saya menganalisa dalam penelitian dengan judul **“TEGANGAN GESER PADA STRUKTUR KAPAL KONTAINER”**.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Tegangan geser merupakan perihail yang perlu dilakukan analisa pada suatu konstruksi. Perbedaan penerimaan beban yang dialami oleh suatu konstruksi dapat menimbulkan tegangan geser dan hal semacam ini bila secara kontinu dialami oleh suatu material akan menyebabkan *fatigue* dan ujungnya berakibat pada kerusakan dan kerugian bagi semua orang tentunya. Penelitian tentang tegangan geser sudah banyak diteliti seperti halnya penelitian tentang tegangan geser dasar yang berpengaruh pada gelombang asimetris [2]. Oleh karena itu, terutama pada kapal juga perlu dilakukan analisa tegangan geser guna mengurangi kerugian yang dapat ditimbulkan secara jangka panjang ataupun jangka pendek.

Perhitungan tegangan geser dapat dilakukan dengan metode analitik ataupun metode *finite element*. Metode elemen hingga tidak hanya digunakan untuk perhitungan analisa tegangan geser saja akan tetapi perhitungan yang lainnya yang mana hal ini telah memberikan kemudahan yang cukup besar dalam dunia keilmuan. Seperti halnya penelitian tentang Analisa Hull Girder pada Kapal Box Shape Bulk Carrier (BSBC) 50.000 DWT dengan menggunakan bantuan software ANSYS [3] dan penelitian tentang perkiraan umur konstruksi kapal Bulk Carier 50.000 DWT dengan analisa *fatigue* yang mengacu pada regulasi *Common Structural Rules I CSR* serta menggunakan bantuan software MSC PATRAN dalam analisa *finite element* [4].

Pada penelitian sebelumnya telah dilakukan pembahasan tentang tegangan geser pada kapal Chemical Tanker dan kapal Bulk Carier. Untuk penelitian tentang tegangan geser pada kapal Bulk Carier, metode yang digunakan adalah metode perhitungan manual dan metode elemen hingga. Perhitungan manual dilakukan dengan menggunakan teori *hull girder respon*

analysis, sedangkan metode elemen hingga dilakukan dengan pemodelan tiga ruang muat pada program Nastran dengan input pembebanan berdasarkan regulasi Registro Italiano Navale (RINA) 2010 [5]. Hasil analisa tegangan geser dari kedua metode tersebut selanjutnya dibandingkan dengan batas ijin tegangan geser yang diberikan oleh regulasi RINA 2011. Sedangkan pada penelitian tegangan geser pada struktur kapal Bulk Carrier 8700 DWT dilakukan analisa manual dan metode elemen hingga sesuai dengan regulasi common structural rules (CSR) bulk carriers [6]. Pemodelan elemen hingga untuk perhitungan tegangan geser menggunakan software MSC PATRAN sebagai pre processor dan MSC NASTRAN sebagai processor. Kapal yang dijadikan studi kasus adalah kapal bulk carrier 8700 DWT. Oleh karena itu penulis mencoba melakukan penelitian tegangan geser pada struktur kapal kontainer yang mana memiliki bukaan palkah yang besar dengan menggunakan 2 metode perhitungan tegangan geser yaitu metode manual dengan teori hull girder respon analysis dan metode elemen hingga dengan bantuan software MSC PATRAN.

III. METODOLOGI

A. Studi Literatur

Studi literatur yang dilakukan adalah yang berkaitan dengan pemahaman teori dan konsep dari perhitungan tegangan geser baik itu perhitungan manual ataupun dengan *FE analysis*. Selain itu juga dilakukan studi literatur tentang teori-teori tegangan geser yang menyangkut momen bending (*bending moment*) ataupun momen torsi. Studi literatur ini dilakukan dengan menggunakan buku-buku referensi, browsing internet, dan regulasi yang digunakan, dalam hal ini adalah RINA [7] dan BKI [8].

B. Pengumpulan Data

Dalam penelitian ini, dilakukan studi kasus pada kapal Kontainer Meratus Progress II. Namun sebelumnya dilakukan terlebih dahulu perencanaan dalam pengumpulan data. Data yang dibutuhkan dalam pengerjaan penelitian ini diantaranya gambar penampang melintang kapal, rencana konstruksi, rencana garis, rencana umum capacity plan dan data perhitungan.

C. Pemodelan Elemen Hingga

Proses analisa dengan metode elemen hingga dilakukan dengan membuat pemodelan pada software Patran 2010, Pemodelan dilakukan dengan memodelkan 1 ruang muat yang terletak tepat dibagian midship. Permodelan elemen hingga meliputi model elemen, properties elemen, kondisi batas, dan beban sesuai dengan ketentuan klasifikasi RINA.

Beban yang diberikan pada model meliputi *local load* dan *hull girder load*. Beban lokal meliputi beban air laut (sea pressure), gelombang air laut (*sea pressure*) dan beban muatan (*internal pressure*). Beban *hull girder* meliputi beban *still water bending moments*, *still water shear force* dan *wave shear force*. dari semua beban tersebut dilakukan pada setiap kondisi pembebanan sesuai dengan perhitungan data kapal. Selanjutnya dilakukan input properties elemen (*elemen properties*), kondisi

batas (*boundary condition*) dan kondisi pembebanan (*loading condition*) berdasarkan regulasi RINA 2010 secara keseluruhan pemodelan. Proses running dilakukan pada model tersebut disetiap kondisi pembebanan. Hasil perhitungan tegangan geser dari *running* program dilakukan perbandingan dengan persyaratan perijinan regulasi BKI (Biro Klasifikasi Indonesia)

D. Analisa Tegangan Geser dengan Perhitungan Manual [9]

Untuk mendapatkan nilai shear flow akibat momen bending dilakukan dengan perhitungan beban input model yaitu gaya geser (*shear force*) di setiap kondisi pembebanan. Perhitungan shear flow dilakukan baik akibat momen bending disetiap kondisi pembebanan ataupun juga momen torsi. Setelah didapatkan hasil shear flow tersebut maka akan dilakukan perhitungan tegangan geser dengan cara membagi shear flow dengan tebal pelat. Tegangan geser pada struktur Kapal Kontainer Meratus Progress II dari hasil perhitungan akan dilakukan perbandingan dengan persyaratan perijinan regulasi BKI (Biro Klasifikasi Indonesia).

1. Tegangan Geser Akibat Momen Bending Vertical

Perhitungan aliran geser (*shear flow*) dilakukan pada setengah model (karena dianggap simetris). Aliran geser pada penampang tertutup (*close section*) dihitung dengan terlebih dahulu memotong penampang sehingga menjadi penampang terbuka (*open section*), lihat tanda silang, dan nantinya hasil perhitungan aliran geser pada penampang terbuka dikoreksi untuk penampang tertutup.

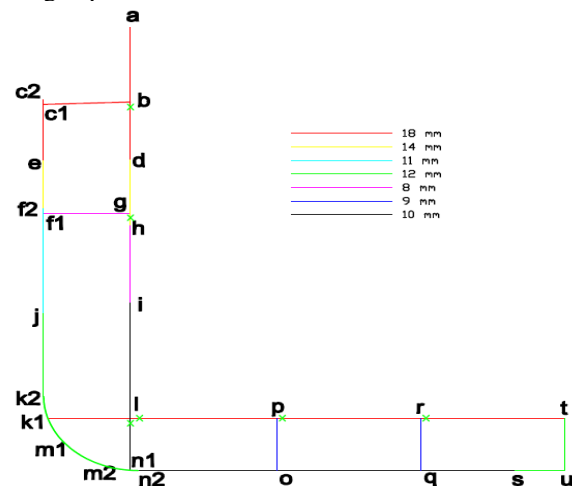
$$q = q^* + q_l \quad (1)$$

q adalah shear flow

q^* adalah shear flow pada open section

q_l adalah shear flow koreksi

Penampang melintang pada kapal kontainer cukup dilakukan analisa setengah model dikarenakan simetris penampang melintangnya. Bagian yang dilakukan analisa adalah bagian yang sangat mendukung kekuatan memanjang kapal. Pembujur dan penumpu geladak tidak dilakukan penganalisaan karena pengaruh hasil dari penambahan bagian tersebut sangatlah kecil. Dapat dilihat seperti gambar 1. penggolongan nama berdasarkan perubahan tebal pelat, hal ini dikarenakan untuk memudahkan perhitungan dalam mendapatkan tinggi titik berat melintang kapal.



Gambar 1 : Penggolongan penamaan pelat

Pada bagian pelat bilga yang dulunya berupa seperempat lingkaran akan dilakukan partisi menjadi tiga bagian yang kecil, hal itu bertujuan agar dapat dilakukan koreksi *shear flow* pada bagian tersebut. Sebelum dilakukan perhitungan *shear flow* akan dilakukan perhitungan momen inersia.

- Perhitungan Momen Inertia

- Aliran geser Tabulasi

Aliran geser (q^*) pada batang diantara 2 node dihitung dengan persamaan berikut:

$$q^* = (Q_v / I_y) \int z dA \quad (2)$$

$$m^* = \int z dA$$

$$Z_{na} = 3,148939343 \text{ m}$$

z adalah jarak vertikal titik berat luasan terhadap NA

Q_v dan I_y konstan sedangkan $m^* = \int z dA$ mempunyai harga yang berbeda sesuai dengan luas dan lokasi komponen konstruksi. Panjang batang di misalkan " s " di integrasi sepanjang batang, sesuai arah anak panah. Arah loop harus searah, loop dibuat disetiap penampang tertutup

- Koreksi Aliran geser

Untuk mendapatkan nilai aliran geser sebenarnya maka harus dilakukan perhitungan koreksi aliran geser terlebih dahulu, koreksi ini dilakukan untuk mengkoreksi nilai q_0, q_1, \dots, q_n yang terdapat pada setiap (3) untuk menghitung koreksi aliran geser dapat digunakan formula berikut ini:

$$(q_1/t)ds + (q_2/t)ds + \dots + (q_n/t)ds = - (q^*/t)ds$$

Untuk mencari nilai q_0 hingga q_n harus diselesaikan secara simultan, untuk mempermudah perhitungan dibuat sebuah matrikulasi.

- *Shear Flow* dan *Shear Stress*

Nilai aliran geser diperoleh dari nilai awal aliran geser sebelum koreksi ditambah dengan koreksi aliran arah loop yang didapat dari perhitungan matrix diatas. Hasil nilai aliran geser (-) menunjukkan arah aliran geser berlawanan dengan asumsi awal. Dengan cara yang sama dilakukan perhitungan analisa aliran geser disetiap kondisi pembebanan. Selanjutnya dari nilai aliran geser yang didapatkan dilakukan perhitungan tegangan geser dengan persamaan sebagai berikut

$$\tau = q/t \quad (4)$$

$$\tau = \text{tegangan geser akibat momen torsi (N/mm}^2\text{)}$$

$$q = \text{shear flow dueto torsion moment}$$

$$t = \text{tebal pelat}$$

2. Tegangan Geser Akibat Momen Torsi

Perhitungan aliran geser dilakukan pada setengah model (karena dianggap simetris). Aliran geser pada penampang tertutup multi cell dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$M_x = \sum_{i=1}^n 2 A_i q_i \quad (5)$$

M_x = Momen Torsi

A_i = Luas *close section* i ($i = 0, 1, 2, \dots$)

q_i = Aliran geser akibat momen torsi i

Karena penampang melintang kapal dianggap simetris, maka lebih baik dilakukan dengan separu penampang kapal, sehingga formula yang digunakan adalah :

$$M_x = \sum_{i=1}^n 4 A_i q_i \quad (6)$$

Dengan :

$$M_x = 4 A_0 q_0 + 4 A_1 q_1 + 4 A_2 q_2 + 4 A_3 q_3 + 4 A_4 q_4 + 4 A_5 q_5 + 4 A_6 q_6 \quad (7)$$

$$M_x / 4 = A_0 q_0 + A_1 q_1 + A_2 q_2 + A_3 q_3 + A_4 q_4 + A_5 q_5 + A_6 q_6$$

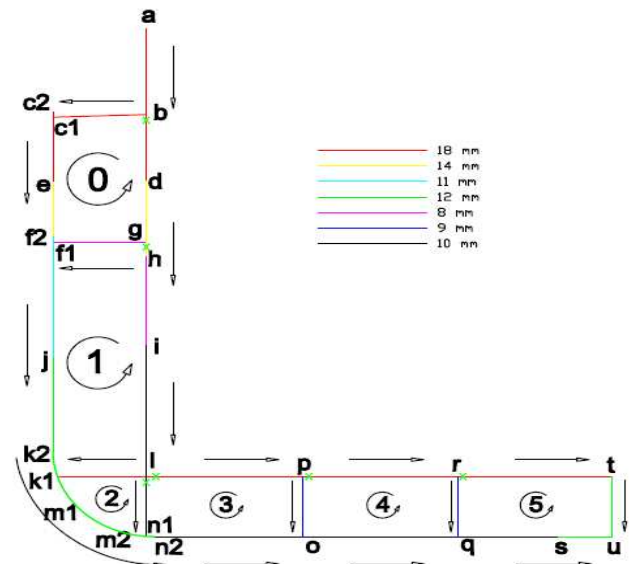
Dikarenakan tidak akan bisa mencari nilai q dengan rumus tersebut maka dilakukan dengan perhitungan *geometric compability*. Untuk beberapa cells close section pada *geometric compability* dapat menggunakan formula sebagai berikut :

$$1/\theta' \int (q/t) ds = 2AG \quad (8)$$

- Koreksi *Shear Flow*

Formula diatas dapat ditulis menjadi :

$$q_i/\theta' \int ds/t - (q_{i-1}/\theta') \int_{i-1} ds/t - (q_{i+1}/\theta') \int_{i+1} ds/t + \dots + (q_n/\theta') \int_n ds/t = 2A_i G \quad (9)$$



Gambar 2 : Aliran *Shear Flow*

Untuk lebih menyederhanakan perhitungan maka di misalkan sebagai berikut :

$$q_i/\theta' = q_i' \quad (10)$$

sehingga persamaan di atas dapat ditulis menjadi :

$$q_i' \int ds/t - (q_{i-1}') \int_{i-1} ds/t - (q_{i+1}') \int_{i+1} ds/t + \dots + (q_n') \int_n ds/t = 2A_i G \quad (11)$$

Mencari nilai q_i dapat dilakukan dengan mencari nilai θ' terlebih dahulu. Formula yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$\theta' = \frac{M_x}{4[A]^T q_i'} \quad (12)$$

Dilakukan perhitungan 4 $(A)^T (q_i')$ terlebih dahulu dengan matrix.

- *Shear Flow* dan *Shear Stress*

Perhitungan nilai aliran geser dapat diperoleh dari penambahan q yang mengalir aliran pelat tersebut. Bila aliran tersebut berlawanan arah maka nilai dari aliran tersebut adalah negatif, begitu juga sebaliknya. Nilai (-) hal itu menunjukkan aliran gesernya berlawanan arah dari asumsi awal. Selanjutnya dari nilai aliran geser yang didapatkan dilakukan perhitungan tegangan geser seperti pada persamaan 4.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Analisa Tegangan Geser Dengan Metode Perhitungan Manual

Dari tabel dibawah ini dapat dilihat bahwa tegangan geser terbesar terjadi pada *loading condition 2D Ballast Dep* sedangkan tegangan geser terendah terjadi pada *loading condition 6A 285 TEU Arr.* Hal ini disebabkan oleh superposisi pada keadaan *loading condition 2D Ballast Dep* terbesar dibandingkan dengan *loading condition* lainnya karena secara perhitungan manual yang telah diberikan oleh *Owen F. Hughes (1988)* hanya memperhatikan kondisi pembebanan yang diberikan oleh gaya geser pada kapal sedangkan gaya-gaya yang diberikan oleh air laut (*wave pressure* dan *inertial pressure*), *Still water bending moment* dan lain sebagainya tidak diperhatikan dalam perumusan *Owen F. Hughes*. Tegangan geser yang terjadi akibat momen bending vertikal diatas secara keseluruhan telah memenuhi persyaratan tegangan geser ijin yang diberikan oleh klas BKI (Biro Klasifikasi Indonesia).

Tabel 1 : Rekapitulasi nilai maksimum *sheer stress* disetiap kondisi pembebanan melalui metode perhitunga manual akibat momen bending (Owen F. Hughes, 1983)

No	Loading Condition	Sheer Strees N/mm ²
1	LightShip	22,6
2	2D Ballast Dep.	26,1
3	2A Ballast Arr.	25,9
4	3D 272 TEU Dep.	20,4
5	3A 272 TEU Arr.	19,8
6	4D 274 TEU Dep.	20,9
7	4A 274 TEU Arr.	19,6
8	5D 277 TEU Dep.	20,6
9	5A 277 TEU Arr.	19,3
10	6D 285 TEU Dep.	20,4
11	6A 285 TEU Arr.	19,2
12	7D 505 TEU Dep.	20,5

Pada perhitungan tegangan geser akibat momen torsi disebutkan oleh *Owen F. Hughes* bahwa nilai tegangan geser yang terjadi sepanjang penampang kapal disebabkan oleh aliran geser yang diakibatkan oleh momen torsi maksimum pada kapal sehingga perhitungan disetiap kondisi tidak diberikan akan tetapi lebih mengacu pada nilai momen torsi maksimum yang terjadi pada kapal. Tegangan geser terbesar akibat momen torsi adalah 26 N/mm² terjadi pada lajur pelat h-i seperti halnya pada perhitungan tegangan geser akibat momen bending vertikal. Perhitungan tegangan geser manual akibat momen torsi yang telah diberikan oleh *Owen F. Hughes (1988)* hanya memperhatikan kondisi pembebanan yang diberikan oleh gaya geser pada kapal sedangkan gaya-gaya yang diberikan oleh air laut (*wave pressure* dan *inertial pressure*), *Still water bending moment* dan lain sebagainya tidak diperhatikan dalam perumusan *Owen F. Hughes*. Tegangan geser yang terjadi akibat momen momen torsi diatas secara keseluruhan telah memenuhi persyaratan tegangan geser ijin yang diberikan oleh klas BKI (Biro Klasifikasi Indonesia).

B. Analisa Tegangan Geser Dengan Metode Perhitungan Elemen Hingga

Setelah model elemen hingga diberikan pembebanan dan kondisi batas yang ditentukan oleh regulasi RINA 2010, maka akan dilakukan analisis terhadap tegangan geser (*shear stress*) pada bagian tengah dari model disetiap *loading condition*, hal itu bertujuan untuk mengetahui diterima atau tidaknya system konstruksi kapal yang dipakai melalui pemeriksaan terhadap tegangan geser.

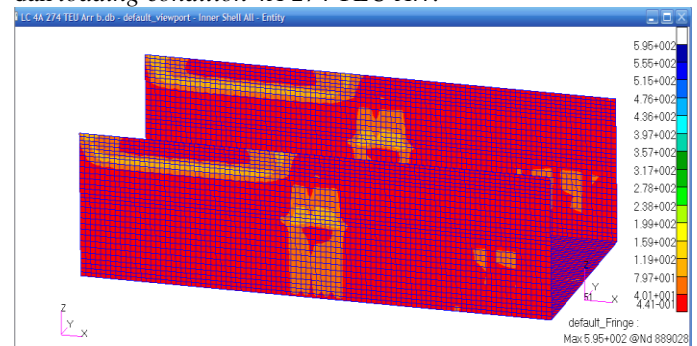
Pembebanan yang diterapkan pada model elemen hingga sesuai dengan ketentuan regulasi RINA 2010 dan yang diambil adalah 12 *loading condition* dan setiap *loading condition* terdapat 5 macam kondisi sehingga jumlah total dilakuan analisa terhadap 60 *loading condition*.

Pada hasil running program hampir semua mengalami *shear stress* yang sangat tinggi pada ujung model akibat kondisi batas serta bagian tengah model akibat pemberian beban momen dan shear, oleh karena itu tegangan geser di bagian tengah model dan ujung model itu diabaikan sepanjang 2 jarak gading. Untuk rekapitulasi hasil analisa konstruksi metode elemen hingga pada setiap kondisi dengan program PATRAN 2010 adalah sebagai berikut :

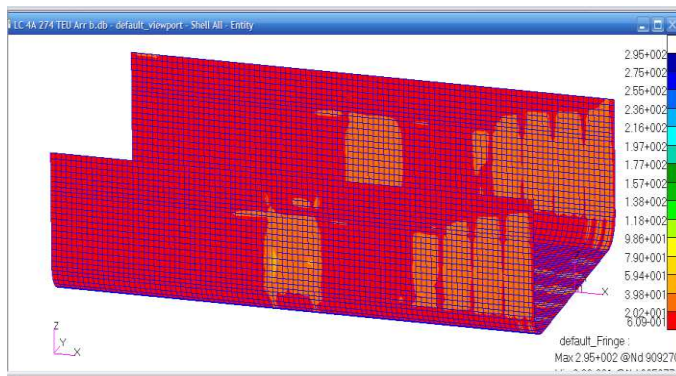
Tabel 2 : Rekapitulasi nilai maksimum *sheer stress* disetiap kondisi pembebanan melalui metode elemen hingga dengan menggunakan software PATRAN 2010

No	Loading Condition	Shear Stress		
		Elemen Hingga (N/mm ²)	Manual	
			Bending Moment (N/mm ²)	Torsi Moment (N/mm ²)
1	LightShip	70,5	22,6	26
2	2D Ballast Dep.	80,6	26,1	26
3	2A Ballast Arr.	85,3	25,9	26
4	3D 272 TEU Dep.	100,4	20,4	26
5	3A 272 TEU Arr.	92,4	19,8	26
6	4D 274 TEU Dep.	102,6	20,9	26
7	4A 274 TEU Arr.	103,3	19,6	26
8	5D 277 TEU Dep.	101,3	20,6	26
9	5A 277 TEU Arr.	102,6	19,3	26
10	6D 285 TEU Dep.	94,1	20,4	26
11	6A 285 TEU Arr.	95,2	19,2	26
12	7D 505 TEU Dep.	98,1	20,5	26

Dari tabel rekapitulasi hasil analisa metode elemen hingga diatas tidak ditemukan nilai yang melebihi tegangan geser izin sebesar 110 N/mm² sehingga tegangan geser yang terjadi dengan metode perhitungan elemen hingga telah memenuhi regulasi klas BKI (Biro Klasifikasi Indonesia). Dibawah ini adalah hasil analisa untuk nilai tegangan maksimum yang terjadi dari keseluruhan kondisi pembebanan yaitu pada *load case b* dan *loading condition 4A 274 TEU Arr.*



Gambar 3 : Visualisasi tegangan geser yang terjadi pada bagian inner shell



Gambar 4 : Visualisasi tegangan geser yang terjadi pada bagian shell

Dari visualisasi analisa tegangan geser yang diberikan oleh software PATRAN 2010 memberikan analisa bahwa tegangan geser terbesar terjadi pada pelat sisi luar adalah 103.3 N/mm^2 sedangkan pada pelat sisi dalam sebesar 87.6 N/mm^2 . Pada kondisi ini tidak terjadi tegangan geser yang melebihi tegangan geser ijin yang telah diberikan oleh klas BKI (biro Klasifikasi Indonesia).

C. Perbandingan Nilai Tegangan Geser Antara Metode Elemen Hingga dengan Metode Perhitungan Manual Terhadap Tegangan Geser yang Diijinkan.

Setelah diketahui nilai tegangan geser maksimum selanjutnya dapat dilakukan perbandingan antara kedua metode yaitu metode perhitungan elemen hingga dan metode perhitungan manual yang diberikan pada setiap kondisi pembebanan. Berikut hasil perbandingan dari hasil tegangan geser maksimum di setiap kondisi pembebanan.

Tabel 3 : Perbandingan tegangan geser antara metode elemen hingga dengan metode perhitungan manual

No	Loading Condition	Shear Stress		
		Elemen Hingga (N/mm^2)	Manual	
			Bending Moment (N/mm^2)	Torsi Moment (N/mm^2)
1	LightShip	70,5	22,6	26
2	2D Ballast Dep.	80,6	26,1	26
3	2A Ballast Arr.	85,3	25,9	26
4	3D 272 TEU Dep.	100,4	20,4	26
5	3A 272 TEU Arr.	92,4	19,8	26
6	4D 274 TEU Dep.	102,6	20,9	26
7	4A 274 TEU Arr.	103,3	19,6	26
8	5D 277 TEU Dep.	101,3	20,6	26
9	5A 277 TEU Arr.	102,6	19,3	26
10	6D 285 TEU Dep.	94,1	20,4	26
11	6A 285 TEU Arr.	95,2	19,2	26
12	7D 505 TEU Dep.	98,1	20,5	26

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa nilai tegangan geser maksimum dengan metode elemen hingga terjadi pada *loading condition* 4A 274 TEU Arr sebesar 103.3 N/mm^2 sedangkan tegangan geser maksimum dengan metode manual terjadi pada *loading condition* 2D Ballast Dep sebesar 26.1 N/mm^2 . Nilai tegangan geser yang terjadi antara metode perhitungan elemen hingga dan manual juga sangat besar. Hal ini dikarenakan oleh faktor pembebanan (*loading*) yang diberikan oleh metode perhitungan elemen hingga lebih kompleks bila dibandingkan dengan metode perhitungan manual. Metode elemen hingga secara detail menganalisa tegangan geser yang diakibatkan oleh *still water pressure*, *wave pressure*, *hull girder load* (*still water moment*, *vertical shear force*, dll) sedangkan metode manual

yang telah dijelaskan oleh Owen F. Hughes hanya memperhatikan nilai gaya geser yang bekerja pada setiap kondisi pembebanan. Hal ini mengakibatkan nilai yang cukup besar pada analisa tegangan geser dengan metode perhitungan elemen hingga akibat dari banyaknya gaya yang diberikan oleh suatu benda.

V. KESIMPULAN

Dalam penelitian ini telah dilakukan analisa tegangan geser dengan menggunakan metode perhitungan manual dan metode elemen hingga pada Kapal Kontainer Meratus Progress II, sehingga diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Konstruksi kapal Kontainer Meratus Progress II memenuhi standar regulasi BKI dalam analisa perhitungan tegangan geser baik yang dilakukan dengan metode perhitungan manual ataupun juga dengan metode elemen hingga.
2. Hasil perhitungan tegangan geser antara metode perhitungan manual dan metode elemen hingga tidak sama. Metode perhitungan manual memodelkan sebuah kapal diasumsikan sebuah balok dan memperhitungkan gaya geser dan momen torsi, sedangkan metode elemen hingga memodelkan sebuah kapal secara detail (1 ruang muat dan 3 dimensi) dan memperhitungkan berbagai macam hal seperti hull girder load (*still water bending moment*, *wave bending moment*, *still water shear force* dan *wave shear force*) dan local load (*sea pressure*, *wave sea pressure* dan *internal load*).
3. Tegangan geser maksimum yang dianalisa dengan metode elemen hingga terdapat pada kondisi pembebanan 4D 274 TEU Dep yang terdapat pada kulit luar dengan nilai sebesar 103.3 N/mm^2
4. Tegangan geser maksimum yang dianalisa dengan metode analisa manual akibat momen bending vertical terdapat pada kondisi pembebanan 2D Ballast Dep. karenan kondisi pembebanan ini yang memiliki shear force maksimum yaitu $6093,053 \text{ kN}$

DAFTAR PUSTAKA

- [1] http://en.wikipedia.org/wiki/Container_ship
- [2] Alfari, Lulut, *Formulasi Praktis Tegangan Geser Dasar dan Offshore-Onshore Sediment Transport untuk Gelombang Asimetris*, ITS, Surabaya, (2011).
- [3] Riyadi, S., *Analisa Hull Girder pada Kapal Box Shape Bulk Carrier (BSBC) 50.000 DWT Menggunakan Metode Elemen Hingga*, ITS, Surabaya, (2006).
- [4] Zakky, A., *Perkiraan Umur Konstruksi Kapal dengan Analisa Fatigue: Study Kasus pada Kapal Bulk Carrier 50.000 DWT*, ITS, Surabaya, (2008).
- [5] Oktovianto, M. Y., *Analisa Tegangan Geser Pada Struktur Cincin Kapal Chemical Tanker 6200 DWT*, ITS, Surabaya, (2011).
- [6] Yulianto, Nevi E., *Analisa Tegangan Geser Pada Struktur Kapal Bulk Carrier*, ITS, Surabaya, (2011).
- [7] RINA, *Rules for the Classification of Ship*, RINA, Italy, (2010).
- [8] BKI, *Biro Klasifikasi Indonesia*, Jakarta, (2006).
- [9] Hughes, O. F., *Ship Structural Design*, John Wiley & Son, New York, (1983).